

Großbrücken in UHPC-Leichtbauweise - Neue Perspektiven für den Brückenbestand

1. Zielerreichung und Projektstatus	1
2. Durchgeführte Arbeiten im Berichtszeitraum	2
2.1. Projektleitung	2
2.2. Wissenschaftliche Leitung	2
2.3. Bestand und Bedarf	3
2.4. Design, Typologie und Systemgrenzen	7
2.5. Musterstatik und Bauverfahren	14
3. Erläuterung von wesentlichen Änderungen bei den Kosten	14
4. Beitrag der Projektergebnisse zur Nachhaltigkeit	14

1. Zielerreichung und Projektstatus

Das zentrale Ziel dieses Projekts ist es, Leichtbaulösungen aus UHPC zu finden, die es erlauben, zumindest den Unterbau von Bestandsbrücken zu erhalten. Diese Brücken müssen den erhöhten technischen und mechanischen Anforderungen (projektspezifisch) genügen und die folgende Anforderungen, insbesondere an die Klimaverträglichkeit, erfüllen:

- Minimierter Ressourcenverbrauch
- Signifikant erhöhte Lebensdauer
- Kurze Bauzeiten bzw. Bauen unter Verkehr

Drüber hinaus wird mit diesem Projekt das Ziel verfolgt, Bauherren, Betreiber, Planer und Ausführende von dem oben präsentierten innovativen Ansatz des „Bauens im Brückenbestand“ mit UHPC zu überzeugen und zeitgerecht darauf vorzubereiten.

Um den Ressourcenverbrauch zu minimieren, wurden einerseits dünnwandige Konstruktionen entwickelt und andererseits innovative Herstellverfahren entworfen. Für kurze, breite Brücken (bis ca. 20m Länge) kristallisierte sich eine formoptimierte Bauweise mit Langfertigteilen als beste Lösung heraus. Besonders hervorzuheben ist das Herstellverfahren, bei dem Spannlitzen im Spannbett nicht gerade gespannt werden, sondern in gekrümmter Form dem Momentenverlauf ressourcenschonend angepasst werden können. Diese Konstruktionsweise kann für Autobahnüberführungen auch auf zwei- und dreifeldrige Systeme angewandt werden.

Im Bereich der großen Spannweiten (Talübergänge) liegen bereits 5 ausgereifte Querschnittsformen für Balkenbrücken mit konstanter Höhe vor. Die Varianten unterscheiden sich insbesondere in der Anzahl der Stege und sich der daraus ergebenden Form. Da die Dicke der Fahrbahnplatte maßgebend für den Ressourcenverbrauch ist, spielt neben der Steganzahl auch die Quervorspannung in der Fahrbahnplatte eine große Rolle. Auch in den Stegen konnte UHPC eingespart werden; nämlich durch die Anwendung von Butterfly-Stegelementen. Diese zeichnen sich durch besondere Schlankheit aufgrund der Tatsache, dass die Schubbewehrung mit im Spannbett gespannten Litzen ausgeführt wird, aus. Alle derzeit ausgearbeiteten Varianten sind besonders gut für die Montage in Segmentbauweise geeignet. Die Konstruktionsformen und Bauteildicken haben jedoch Allgemeingültigkeit und lassen sich evtl. auch mit anderen Bauverfahren wirtschaftlich herstellen. Als Highlight ist die Konzeption des sogenannten Schnellbauverfahrens zu erwähnen. Dieses weicht von der üblichen Vorgehensweise ab und kombiniert den Abriss und Ersatzneubau des Überbaus chronologisch. Es wird das für den Abriss erforderliche Vorschubgerüst an ein und derselben Position phasenversetzt auch für die Montage der neuen Brücke verwendet.

Bei den Bahnbrücken wurde der Fokus auf eingleisige Einfeldträger mit Spannweiten von ca. 60m gelegt. Als Ergebnisse liegen aktuell zwei sehr leichte Quertragsysteme (Fahrbahnplatten) und zwei Längssysteme vor. Die Optimierung des Quertragsystems führte zu einer Rippenplatte mit gevouteter Deckplatte. Die fachwerkartig aufgelöste Hohlplatte bietet zwar Steifigkeitsvorteile verbraucht aber ohne weitere Optimierung doch deutlich mehr UHPC. Die Verbindung zwischen Quersystem und Längstragsystem lassen sich sowohl

mittels vorgespannter Trockenfugen, als auch als schlaff bewehrte Nassfugen sinnvoll realisieren. Als derzeit leichtestes Längssystem wurde ein Fischbauch-Fachwerk entwickelt, bei dem die Einzelfertigteile mit Hilfe von „horizontalen“ Spanngliedern in den Gurten und mit vertikalen Spannstäben zwischen den ausgekreuzten Diagonalen trocken gefügt werden können. Geringfügig schwerer ist die Variante mit über die Spannweite konstant 3,7m hohem C-Querschnitt. Im Gegensatz zum Fischbauch-Fachwerk wird hier keine Segmentierung in der Höhe erforderlich. Highlight dieser Variante ist, dass das Quersystem in beliebiger Höhe an den Rücken des C-Profiles angeschlossen werden kann, wodurch der Höhenunterschied zwischen dem bestehenden Widerlager und der Gleisoberkante keine Zwangsbedingung für die Planung repräsentiert. Derzeit befinden sich noch obenliegende Systeme, wie Langer'sche Balken bzw. Bogenfachwerkträger in Ausarbeitung. Es wird davon ausgegangen, dass diese Vorteile bei der Montage haben werden.

Für die Erstellung des am Projektende angestrebten Entwurfsleitfadens wurde von allen untersuchten Brückenlösungen bereits übersichtliche und inhaltsreiche Fact-Sheets im DIN A3-Format ausgearbeitet.

Die vorliegenden Ergebnisse erfüllen alle technischen Zielvorgaben des ersten Forschungsjahres. Die Ziele sind nach wie vor aktuell. Die enge Zusammenarbeit im großen Konsortium stellt jetzt schon sicher, dass Planer, Betreiber und Baufirmen auf die neuen Bauweisen mit UHPC vorbereitet sind.

2. Durchgeführte Arbeiten im Berichtszeitraum

2.1. Projektleitung

Fertigstellungsgrad: 100%

Neben der Vertretung gegenüber der FFG umfasste die Projektleitung im Berichtszeitraum auch die terminliche Projektkoordination, die Organisation von Projektmeetings, die Koordination der Kommunikation zwischen den Projektpartner:innen (Wirtschaft und Wissenschaft) sowie das Vertragsmanagement. Zusätzlich wurden administrative Aufgaben der Projektorganisation übernommen und die termingerechte Einholung von Partnerbeiträgen. Personell fand per November der Abgang von Ing. Jürgen Silberknoll sowie die Aufnahme von Dr. Ufuk Yilmaz als neuer Forschungsreferent der ÖBV statt.

Der Fertigstellungsgrad dieses Arbeitspakets beträgt 100 %.

2.2. Wissenschaftliche Leitung

Fertigstellungsgrad: 100%

Abbildung 2.2.1 zeigt die im Projekt organisierten Meetings und Workshops unterschiedlicher Partner, um den Projektfortschritt plangemäß zu ermöglichen. Der fachliche Austausch erfolgte teilweise online, hauptsächlich jedoch in Präsenz. Als Ergebnis dieses Arbeitspakets liegt ein Bericht inklusive Brückenentwurfskatalog mit 111 Seiten vor.

Bei der wissenschaftlichen Leitung und Koordination gab es keine Änderungen.

	Datum	Ort	Beginn	Ende	Teilnehmer	Inhalt
1	12.04.2025	Online	08:00	10:00	LKI: Freytag, Derler, ITE: Stefa Peters, Trummer, Kim Merhoff, Maximilian Autengruber, Michael Kleiser (Asfinag), Franz Forstlechner (OEBB), Martin Reichel (KHP)	Workshop Brückenbestand
2	19.05.2025	Salzburg	11:00		Freytag, Derler	Kick-Off-Meeting
3	04.06.2025	LKI	09:00	10:00	Derler, Fülöp, ITE: Thomas Rumpf Peters, Stefan; Trummer, Andreas; Freytag, Bernhard; Derler, Christoph ; Meyerhoff, Kim Michele <kim.meyerhoff@tugraz.at>; valentin.dujmovic@student.tugraz.at	Installation Sofistic
4	12.06.2025	ITE	13:00	15:00		interner Workshop: wissenschaftliche Herangehensweise AP4
5	08.07.2025	LKI	15:00	16:00	Freytag, Derler, Dujmovic, Witzeling	LKI-intern
6	09.07.2025	LKI	08:00	12:00	Derler, Dujmovic, Witzeling, ...	Schulung
7	08.09.2025	LKI	10:00	12:00	Freytag, Derler, Dujmovic, Witzeling	LKI-intern
8	19.09.2025	online	08:00	09:30	Michael Kleisner (Asfinag), Derler, Freytag, Dujmovic	Vorabstimmung Next Bridges - Termin 1
9	24.09.2025	LKI	08:30	12:00	LKI: Freytag, Derler, Dujmovic, Witzeling, ITE: Trummer, Peters, KHP: Michael Reichl, Michael Maier	Projektmeeting
10	10.10.2025	online	11:00	12:00	Freytag, Dujmovic, ÖBB: Max Autengrauber, KOB Alexander Oplustil	<ul style="list-style-type: none"> •Kurzer Überblick zum aktuellen Stand des Entwurfs (TU Graz) •Lasten nach EC, welche Lastfälle/Kombinationen sind in welchen Tragwerksteilen maßgebend (auch Entgleisung, ...) •Hinweise zur Gestaltung hinsichtlich Vorspannung(?), Dynamik & Ermüdung aus der Praxis Lastfälle, Entgleisung, Schwingungsverhalten
11	13.10.2025	LKI	09:00	11:00	Freytag, Derler, Dujmovic, Witzeling	LKI-intern
12	15.10.2025	Wien	14:00	18:00	Freytag, Derler, Dujmovic, Witzeling; ITE: Trummer, Peters, Meyerhofer, KHP Michael Mayer	Zwischenbericht
13	28.10.2025	ITE	14:30	18:30	Freytag, Derler, Dujmovic, Witzeling; ITE: Trummer, Peters, Meyerhofer;	Workshop
14	26.11.2025	ITE	09:00	11:00	Freytag, Derler, Dujmovic, Witzeling, Wieser, ITE: Meyerhoff, Trummer, Peters	Inhalt <input type="checkbox"/> Vorzeigen und durchbesprechen des aktuellen Arbeitsstandes <input type="checkbox"/> Ideenfindung und Ausarbeitung von Lösungsansätzen für: <ul style="list-style-type: none"> oGekrümmte/Umgelenkte Vorspannung im sofortigen Verbund oFachwerksegmentierung (Langsegmente, Kleinscheiben, Butterfly) und Fachwerksvorspannung oLängssysteme für Brücken mit kurzen Spannweiten oVorzubereitende Inhalte für den Workshop mit den Projektpartnern im Dezember
15	15.12.2025	LKI	10:00	13:00	It, Liste	Workshop
16	27.02.2026	online	10:00	11:00	Freytag, Derler, Dujmovic, Witzeling, Wieser, ITE: Trummer, Meyerhoff, Kalcher	NextBridges – Besprechung für Endpräsentation Jahr 1 <ul style="list-style-type: none"> • Vorgehensweise - Allgemeiner Teil • Präsentationsstruktur • Anpassungen und Ergänzungen einzelner Folien • Plan für Montag
17	02.03.2026	Völkermarkt	10:00	16:00	It, Liste	Endbericht, Workshop
18	19.03.2026	ITE	09:00	12:00	Freytag, Derler, Dujmovic, Witzeling, Wieser, ITE: Trummer, Meyerhoff, Kalcher	Workshop

Abbildung 2.2.1: Organisierte Meetings und Workshops

2.3. Bestand und Bedarf

Fertigstellungsgrad: 100%

Das Arbeitspaket 3 wurde planmäßig abgearbeitet. Es bildet die Grundlage für eine sinnvolle Eingrenzung und Gliederung der im weiteren Projektverlauf bearbeiteten Brückentypologien.

Zunächst erfolgte eine umfassende Literaturstudie hinsichtlich der Struktur bzw. Beschaffenheit des gesamten österreichischen Brückenbestandes (sowohl Straßen- als auch Bahnbrücken). Es wurden Informationen aus diversen Literaturquellen – die auf entsprechenden Zahlen und Daten von ÖBB und

ASFING beruhen – gesammelt und statistisch aufbereitet. Dies ermöglichte einerseits einen guten Gesamtüberblick zum Gesamtumfang an Tragwerken und zur Häufigkeit der eingesetzten Tragsysteme, Querschnitte, Materialien und Bauweisen sowie andererseits auch einen ersten Anhaltspunkt zur Alterststruktur und dem Zustand dieser Tragwerke.

Die wesentlichen Erkenntnisse aus dieser Literaturstudie sind nachfolgend auszugsweise dargestellt. So lässt sich etwa anhand der zeitlichen Entwicklung des Brückenbestandes aus *Abbildung 2.3.1* erkennen, dass etwa 35% der heute bestehenden Tragwerke (gemessen an der Tragwerksfläche sogar rund 45%) zwischen 1950 und 1980 errichtet wurden. Absolut gesehen sind dies rund 10.000 Tragwerke (bzw. 5 km² Tragwerksfläche), die in etwa 25 Jahren an ihr rechnerisches Lebensende gelangen und somit ein enormes Potential für den Bedarf an entsprechenden UHPC-Ersatzneubauten darstellen. Ein Vergleich in der zeitlichen Entwicklung von Tragwerksanzahl und der hinsichtlich GWP-Einsparungspotential aussagekräftigeren Tragwerksfläche bestätigt zudem, dass es sich bei einem Großteil der zwischen 1950 und 1970 errichteten Brücken um weit gespannten Tragwerke (Talübergänge/Hangbrücken) handelt.

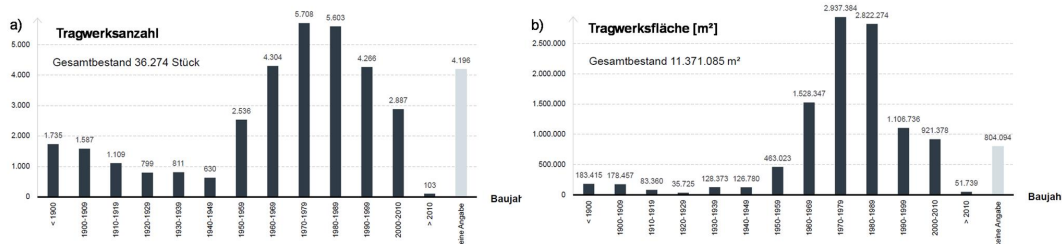


Abbildung 2.3.1: Entwicklung des österreichischen Brückenbestandes, ausgedrückt in a) Tragwerksanzahl bzw. b) Tragwerksfläche

Eine Analyse der Häufigkeitsverteilung des Brückenbestandes hinsichtlich der Konstruktion (siehe *Abbildung 2.3.2*) zeigte die deutliche Dominanz von Platten- und Balkentragwerken aus Stahl- bzw. Spannbeton. Bogentragwerke (sowohl "echter" Bogen als auch Langer'scher Balken) und Rahmentragwerke nehmen demgegenüber nur eine untergeordnete Bedeutung ein. Ähnlich untergeordnet ist auch die Bedeutung von Stahl- bzw. Stahl-Verbundbrücken im Vergleich zu den Stahlbeton- bzw. Spannbetontragwerken. Bei den Querschnitten ist erkennbar, dass zwar die Plattenbalken (primär nur für kurze Spannweiten einsetzbar) hinsichtlich ihrer Anzahl überwiegen. In Bezug auf die Tragwerksfläche sind jedoch auch die Plattenbalken- bzw. Hohlkastenquerschnitte (primär für mittlere bis große Spannweiten) ähnlich bedeutend.

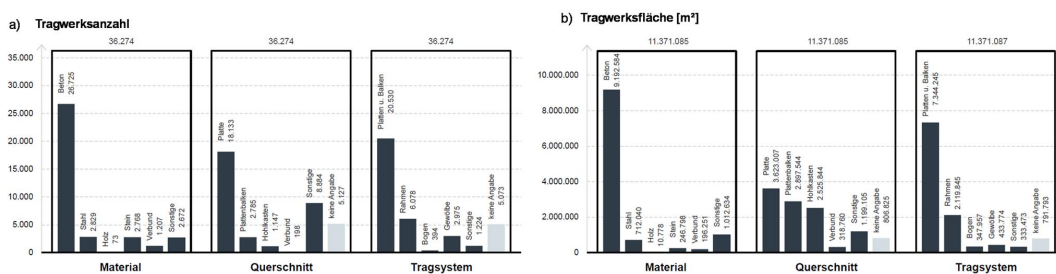


Abbildung 2.3.2: Häufigkeitsverteilung der Bestandsbrücken hinsichtlich ihrer Konstruktion (Material, Querschnitt, Tragsystem), ausgedrückt in a) Tragwerksanzahl bzw. b) Tragwerksfläche

Auch der Zustand der Bestandsbrücken wurde im Rahmen des Projektes näher analysiert. Aus den Recherchen zeigte sich ein mittleres Brückenalter der ASFING-Straßenbrücken von etwa 40 Jahren sowie ein etwas höheres Alter der ÖBB-Bahnbrücken von ca. 50 Jahren. Gemäß dem Netzzustandsbericht der ASFING aus dem Jahr 2025 konnte erhoben werden, dass etwa 6% der Bestandsbrücken aktuell mit der Zustandsklasse 4 bzw. 5 (d.h. schlecht bzw. sehr schlecht) bewertet sind (siehe *Abbildung 2.3.3a*) und etwa 40% in die Zustandsklasse 3 (d.h. ausreichend) fallen.

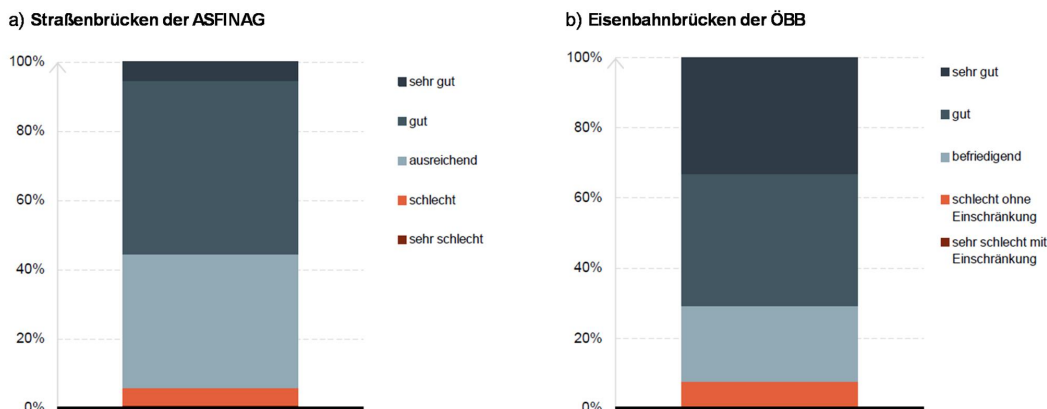


Abbildung 2.3.3: Zustandsbewertung der österreichischen Brücken; a) Straßenbrücken der ASFINAG bzw. b) Eisenbahnbrücken der ÖBB

Ein ähnliches Bild ergab sich bei den Bahnbrücken der ÖBB, bei denen rund 7% der Bestandsbrücken in die Zustandsklasse 4 bzw. 5 (d.h. schlecht ohne Einschränkung bzw. schlecht mit Einschränkung wie z.B. Geschwindigkeitsbegrenzung) fallen (siehe *Abbildung 2.3.3b*).

Notwendige Ersatzneubauten – noch vor dem Erreichen der rechnerischen Nutzungsdauer – ergeben sich insbesondere bei den Straßenbrücken auch dadurch, dass die Lastmodelle der früheren Normengenerationen – insbesondere vor den 1980er Jahren – dem aktuellen und zukünftigen Verkehrsaufkommen nicht ausreichend Rechnung tragen. Dies liegt am drastischen Anstieg der Güterverkehrsleistungen von Straße und Bahn, wie anhand der Entwicklung in *Abbildung 2.3.4* ersichtlich. Demnach hat sich der Güterverkehr auf den österreichischen Straßen gegenüber dem Jahr 1980 bereits mehr als verfünffacht, mit weiter steigender Tendenz.

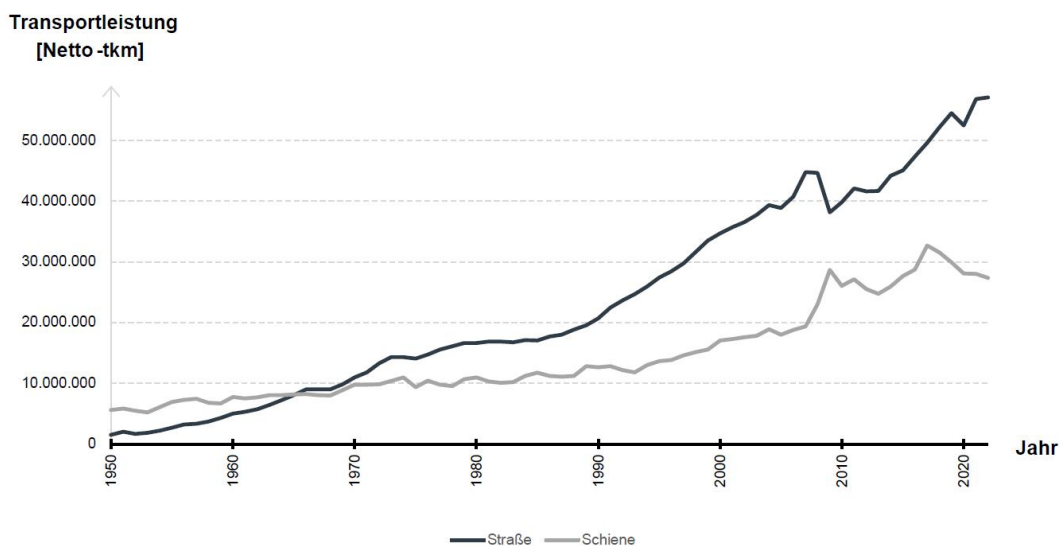


Abbildung 2.3.4: Entwicklung der Güterverkehrsleistungen im österreichischen Straßen- und Schienennetz

Für die weitere Eingrenzung der im Projekt betrachteten Brückentypologien sowie eine konkrete, sinnvolle Festlegung von Entwurfsparametern und Randbedingungen, wurden seitens der Unternehmenspartner und Infrastrukturbetreiber ASFINAG und ÖBB jeweils 6 (bzw. 7) repräsentative Bestandsobjekte von besonderem Interesse selektiert (siehe *Abbildung 2.3.5*) und die zugehörigen Bestandsunterlagen zur Verfügung gestellt. Die Auswahl dieser Bestandsobjekte deckt einerseits die Vielfalt der unterschiedlichen Brückentypologien ab und legt zugleich den Schwerpunkt auf die – gemäß Häufigkeitsverteilung – bedeutendsten Systeme und Bauweisen.

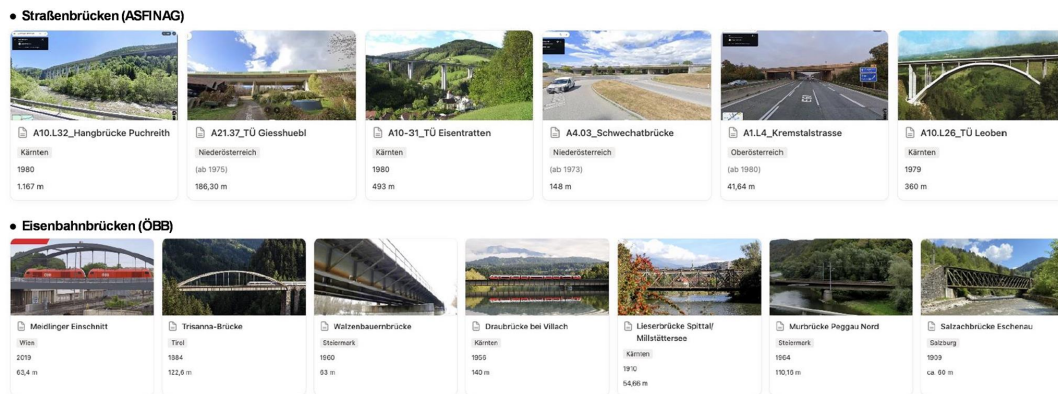


Abbildung 2.3.5: Selektierte, repräsentative Bestandsbrücken zur Eingrenzung der betrachteten Brückentypologien und Festlegung von Entwurfsparametern bzw. Randbedingungen

In einem ersten Analyseschritt wurde zu jedem der selektierten Bestandstragwerke ein Brückendatenblatt erstellt, in dem alle wesentlichen technischen und planerischen Aspekte zusammengefasst sind. Im Wesentlichen umfasst dies das Längstragsystem, den Querschnitt, die Stützweite bzw. den Schlankheitsgrad (l/h), das Baujahr sowie allfällige bauwerkspezifische Besonderheiten. *Abbildung 2.3.6* zeigt dieses Brückendatenblatt exemplarisch für die Objekte Kremstalstraße (Straßenbrücke) und Salzachbrücke Eschenau (Bahnbrücke).



Abbildung 2.3.6: Brückendatenblätter für die Bestandsobjekte Kremstalstraße (Straßenbrücke) und Salzachbrücke Eschenau (Bahnbrücke)

In einem zweiten Analyseschritt erfolgte eine Abstrahierung der repräsentativen Bestandsbrücken hinsichtlich Tragsystem und Spannweite, wodurch sich die in *Abbildung 2.3.7* dargestellte Typologiematrix ergab. Demnach lassen sich alle repräsentativen Bestandsobjekte in drei wesentliche, unterschiedliche Brückentypologien eingliedern. Dies sind:

- Bahnbrücken, mit den typischerweise außenliegenden Hauptträgern in Deck- oder Trogbauweise und einer Stützweite von ca. 30-60m
- Straßenbrücken mit kurzen Spannweiten von ca. 20-30m und breiten Pfeilerscheiben, die meist als Überführung von Verkehrswegen dienen
- Straßenbrücken mit großen Spannweiten von 30-100m und schlanken, hohen Pfeilern, die meist als Talübergänge/Hangbrücken dienen

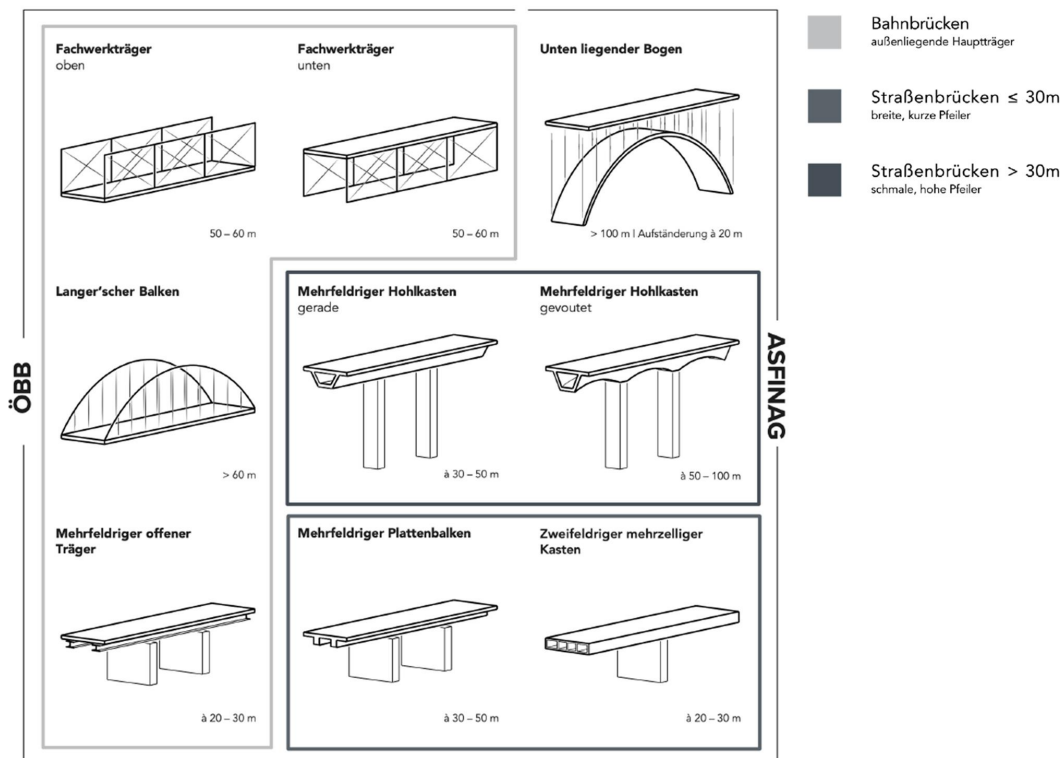


Abbildung 2.3.7: Typologiematrix zur Eingliederung der repräsentativen Bestandsobjekte in 3 unterschiedliche Brückentypologien

Aus der Bestandsanalyse zeigte sich, dass beiden Typologien von Straßenbrücken (sowohl kurze als auch lange Tragwerke) eine ähnlich große Bedeutung im potentiellen Bedarf an UHPC-Ersatzneubauten zukommt, sodass diese – neben den Bahnbrücken – beide im weiteren Projektverlauf betrachtet wurden. Dies deshalb, da sich zwar die Anzahl an weitgespannten Straßenbrücken in Grenzen hält, diese aber dennoch aufgrund ihrer großen Brückenfläche einen gewichtigen Anteil im Gesamtbestand einnehmen. Umgekehrt relativiert sich die kleine Tragwerksfläche von kurzen Straßenbrücken durch die große Anzahl an diesen Objekten. Außerdem bietet sich die Typologie der kurzen Straßenbrücken – bei denen sich die Stützweiten meist aus dem vorgegebenen Lichtraumprofil der darunter liegenden Verkehrswege ergibt, und diese daher oft einheitlich sind – sehr gut für den Entwurf von Systemlösungen an.

Die im Zuge der Bestandsanalyse gewonnenen Erkenntnisse und daraus festgelegten, baupraktischen Entwurfsanforderungen bzw. Randbedingungen für den UHPC-Brückenentwurf wurden im Rahmen von zwei hybriden Workshops mit den Projektpartnern diskutiert und validiert.

Die Bestandanalyse der Referenzbrücken ermöglicht aufgrund der zur Verfügung gestellten Unterlagen, zu einem späteren Projektzeitpunkt weiters auch den direkten Vergleich herkömmlicher Bauweisen (Stahlbeton/Spannbeton, Stahlbauweise, Verbundbauweise) mit den im AP 4 entworfenen UHPC-Lösungen. Eine Gegenüberstellung von Massen, Ressourcenverbrauch, GWP-Werten und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wird so im Zuge nachfolgender Arbeitsschritte ermöglicht. Konkret wurden dazu in AP 3 für einige Bestandsobjekte, anhand der zur Verfügung gestellten Bestandsunterlagen, bereits 3D-Geometriemodelle mittels der Software Rhino erstellt.

2.4. Design, Typologie und Systemgrenzen

Fertigstellungsgrad: 100%

Das Arbeitspaket 4 (Design, Typologie und Systemgrenzen) wurde planmäßig bearbeitet. Aufgrund der Fülle an innovativen Ideen zu kreativen Brückenbaukonzepten – sowohl seitens der wissenschaftlichen Partner, als auch seitens der im Rahmen von mehreren Workshops eng eingebundenen Unternehmenspartner –

konnten im ersten Forschungsjahr noch nicht alle konzeptionellen Brückenentwürfe auch statisch-konstruktiv (auf Vorstatik-Level) ausgearbeitet werden. Aus diesem Grund ist geplant, die Arbeiten in AP4 noch ca. 6 Monate fortzusetzen, um den bisher erarbeiteten Brückenentwurfskatalog – der bereits eine Vielzahl an technisch umsetzbaren Lösungen enthält – zu erweitern.

Die in AP4 durchgeführten Entwurfsarbeiten schließen unmittelbar an die Bestands- bzw. Bedarfsanalyse aus AP3 an, und gliedern sich somit ebenfalls nach den folgenden 3 Brückentypologien (siehe auch *Abbildung 2.4.1*):

- Bahnbrücken, mit außenliegenden Hauptträgern und einer Stützweite $< 60\text{m}$
- Straßenbrücken mit kurzen Spannweiten ($< 30\text{m}$) und breiten Pfeilerscheiben
- Straßenbrücken mit großen Spannweiten ($> 30\text{m}$) und schlanken, hohen Pfeilern

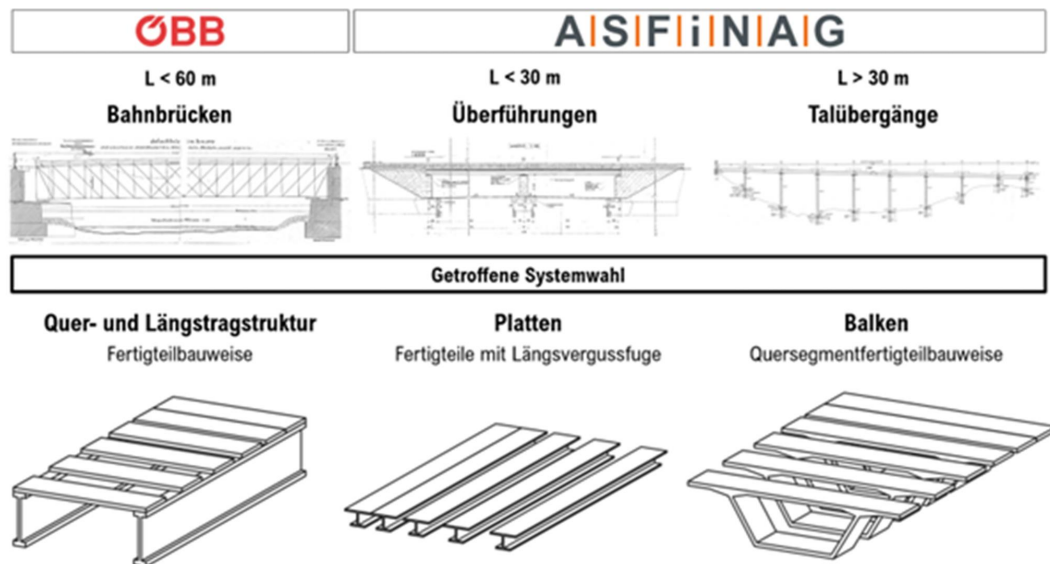


Abbildung 2.4.1: Unterscheidung der Brückentypologien für die Entwurfsarbeit und zugehörige Wahl von Tragsystem und Bauweise

Der erste Arbeitsschritt in AP 4 bestand daraus, alle notwendigen Entwurfsgrundlagen zu recherchieren und diese nachvollziehbar aufzubereiten. Dies betrifft vor allem die Regelquerschnitte, die aus den RVS-Richtlinien bzw. den internen Regelwerken der Infrastrukturbetreiber entnommen wurden, sowie auch die zutreffenden Lastansätze bzw. Verkehrslastmodelle nach der aktuell gültigen Normung. Zum letzteren Thema fand auch ein Online-Workshop statt, mit einem erfahrenen Tragwerksplaner aus dem Konsortium.

Parallel zur Vorbereitung der Entwurfsgrundlagen erfolgte auch die Einarbeitung in das FE-Softwarepaket Sofistik. Als Startschuss fand diesbezüglich ein ganztägiges „Onboarding“ statt, bei dem ein Anwendungsingenieur der Fa. Sofistik wichtige Inputs zu brückenbauspezifischen Programminhalten und zur Schnittstelle mit der 3D-Software Rhino lieferte. Weiters wurden zum effizienten Workflow für die Vorbemessung der UHPC-Bauteile auch eigene Excel-Tools entwickelt, wie z.B. für die Querkraft- bzw. Biegebemessung (siehe Programmauszug in *Abbildung 2.4.2*).

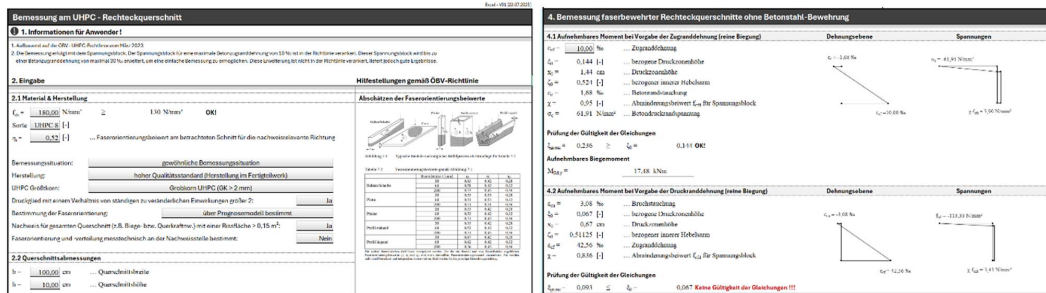


Abbildung 2.4.2: Programmauszug aus dem entwickeltem Excel-Tool zur Biegebemessung von UHPC-Rechteckquerschnitten

Die anschließende, eigentliche Entwurfsarbeit fand in enger Abstimmung zwischen den wissenschaftlichen Partnern statt (regelmäßige interne Entwurfs-Workshops). Neben den architektonischen und statischen Gesichtspunkten wurden bei den entwickelten Entwurfslösungen auch bereits wichtige konstruktive Aspekte, die Herstellung, das Bauverfahren und die Montage mitberücksichtigt. Dazu hat unter anderem auch ein Workshop stattgefunden, bei dem die Unternehmenspartner aus den Bereichen Rohstoffhandel, Fertigteiltbau, Spann- und Ankertechnik sowie Bauausführung ihre fachliche Expertise einbrachten.

Nachfolgend findet sich eine kurze inhaltliche Zusammenfassung zu den entwickelten Brückenentwürfen und den dabei jeweils gewonnenen wichtigsten Erkenntnissen.

Bahnbrücken

Bei diesem Brückentyp lag entsprechend der Bedarfsanalyse in AP3 der Entwurfsfokus auf einfeldrigen, eingleisigen Tragwerken mit einer Stützweite von maximal 60m. Die Längs- und Quertragstruktur werden hier getrennt voneinander betrachtet. Entsprechend der schematischen Darstellung in *Abb. 1* ist hier angedacht, zunächst die außenliegenden Hauptträger aus Fertigteilesegmenten zu errichten und einzuheben, bzw. anschließend die Fahrbahnsegmente (ebenfalls als Fertigteile) aufzulegen und mit den Haupträgern quer zu verspannen oder mittels Nassfuge zu verbinden.

Für die Längstragstruktur wurde sowohl eine Vollwandlösung in Form eines C-Profiles (siehe *Abbildung 2.4.3a*), als auch eine Fachwerklösung mit fischbauchförmigem Rautenfachwerk (siehe *Abbildung 2.4.3b*) erarbeitet. Der Vorteil am C-Profil liegt darin, dass die Fahrbahnsegmente über Konsolen im Bereich des Schubmittelpunktes aufgelegt werden können. Beim Fachwerkträger besteht eine wesentliche Entwurfsidee darin, die aufgrund der Transportbeschränkung notwendige Teilung in der Höhe mittels Trockenfugen in den Fachwerkknotenpunkten zu lösen (siehe *Abbildung 2.4.3b*). Durch externe, vertikale Spannstäbe (fettverpresst im PE-Mantel) werden sowohl die Fugen als auch die Zugnormalkräfte in den Diagonalen planmäßig überdrückt.

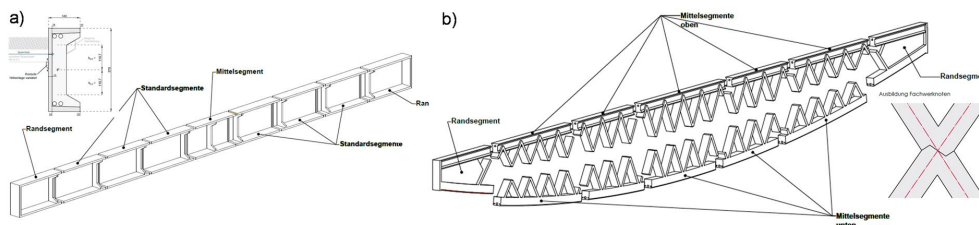


Abbildung 2.4.3: Entwürfe für die Längstragstruktur von Bahnbrücken; a) Vollwandträger mit C-Querschnitt bzw. b) Fachwerkträger in Fischbauchform

Weitere Entwurfsansätze für die Längstragstruktur (z.B. zweiteilige Hauptträger und dazwischenliegender nasser, horizontaler Vergussfuge bzw. Hauptträger als Langer'scher Balken) sind derzeit noch in Bearbeitung.

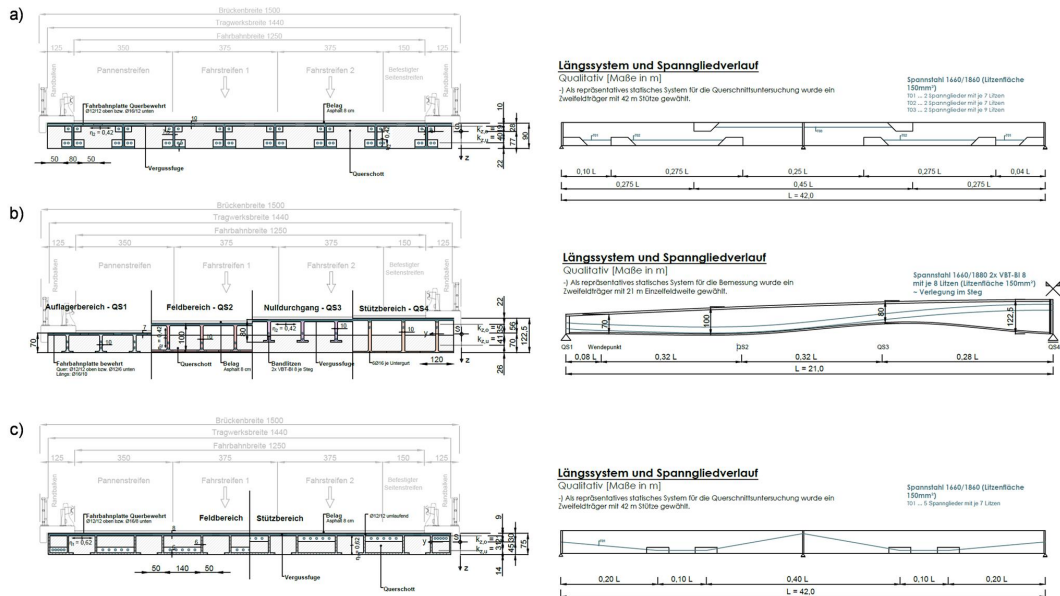


Abbildung 2.4.6: UHPC-Überbauten für Straßenbrücken als Zweifeldträger mit einer Stützweite von $L=20\text{m}$

Neben den ausgearbeiteten Einfeld- und Zweifeldträgerlösungen wurde auch eine Rahmenlösung mit Schrägstützen entworfen (siehe *Abbildung 2.4.7*). Dadurch konnte unter Beibehaltung der Konstruktionshöhe eine Erhöhung der Gesamtbrückenlänge von 40m auf 60m erreicht werden.

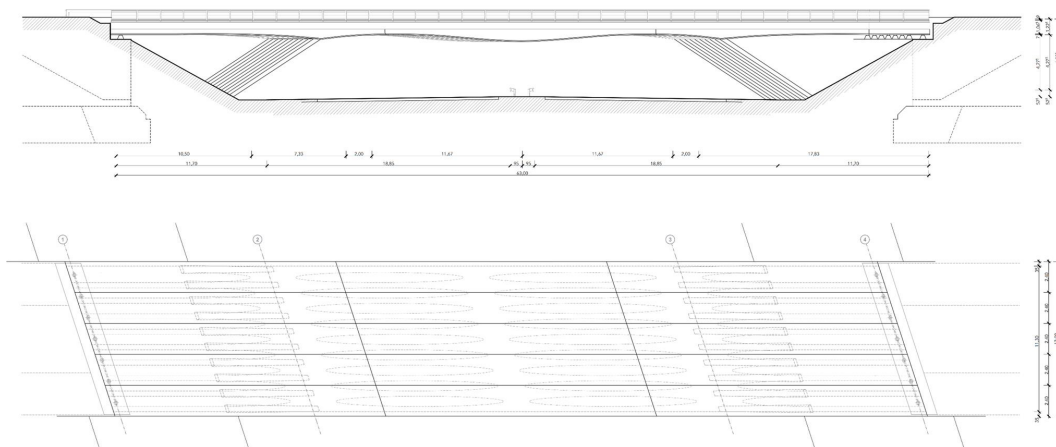


Abbildung 2.4.7: Entwurf der Straßenbrücken mit kurzer Spannweite als Rahmenbrücke mit Schrägstützen

Straßenbrücken mit großer Stützweite

Bei den Straßenbrücken mit großen Stützweite (Talübergänge) wurde nach umfassender Literaturrecherche und eingehender Studie von bereits ausgeführten Projektbeispielen in UHPC, die Segmentbauweise als Bauweise gewählt. Ein wesentlicher Vorteil dieser Bauweise besteht darin, dass die zur Biegetragfähigkeit in Längsrichtung ohnehin erforderlichen Spannglieder auch die Segmentfugen überdrücken und somit gleichzeitig die Funktion des Verbindungsmittels und der Hauptbewehrung übernehmen. Darüber hinaus wurden in der Segmentbauweise auch Vorteile im Hinblick auf das Bauverfahren festgestellt. Ein Verfahren, welches den Rück- und Neubau von Brückenüberbauten koppelt, kann auf bestehenden Verkehrsachsen einen besonders schnellen und wirtschaftlichen Bauprozess ermöglichen und wurde demzufolge auch im Rahmen der Ausarbeitung konzipiert.

Im nächsten Schritt wurden unterschiedliche Kastenquerschnitte entworfen und bemessen. In Hinblick auf die Herstellung handelt es sich bei den Querschnitten b) bis e) in *Abb.8* um reine „Extrusions“-Querschnitte. Aufgrund des Verzichts von Querrippen, wie sie nach dem Stand der Forschung häufig vorgesehen werden, lassen sich diese Querschnitte besonders einfach herstellen. Der Querschnitt e) in *Abbildung 2.4.8* bedient sich einer ursprünglich aus Japan stammenden Innovation, bei der die Querkräfte über materialoptimierte Fertigteilelemente im Steg („Butterfly-Web“) abgetragen werden. Bei diesem Entwurf ergeben sich aufgrund des aufgelösten Querschnitts baubetriebliche und logistische Vorteile, die eine Etablierung der Segmentbauweise in die österreichische Bauwirtschaft ermöglichen könnte. Die Querschnitte b) bis e) haben individuelle Stärken im Hinblick auf die Ressourceneffizienz, die statischen Eigenschaften, die Herstellung sowie den Transport und die Inspektion.

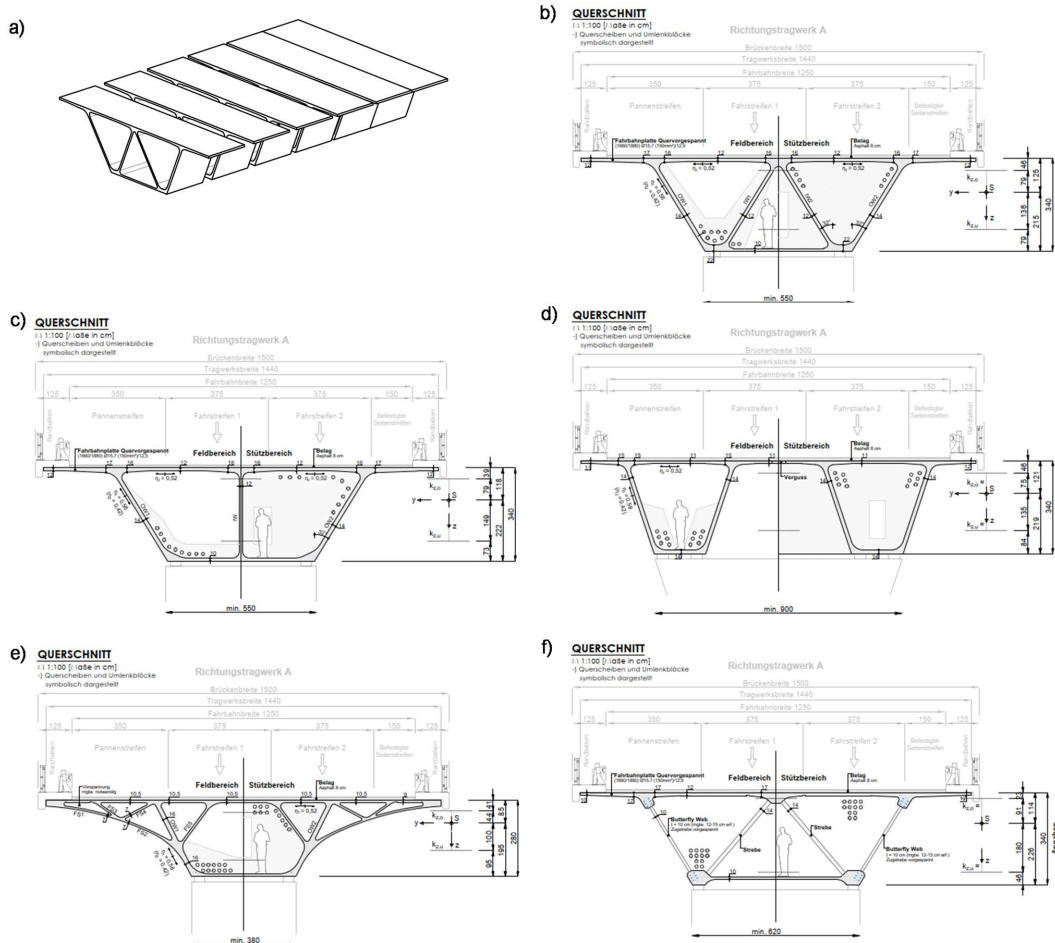


Abbildung 2.4.8: Querschnittsentwürfe für Straßenbrücken mit großer Spannweite (L=60m)

Neben den Kastenquerschnitten befinden sich aktuell auch antragsmäßige Lösungen mit offenen Querschnitten (zwei Hauptträger) in vollwandiger oder fachwerkartiger Ausführung in Bearbeitung. Anstelle der Segmentbauweise dient hier die klassische Stahl-Verbundbauweise als Vorbild, wobei die Stahlträger durch formoptimierte UHPC-Träger und die Ortbetonplatte durch UHPC-Fertigteileplatten ersetzt werden.

Abbildung 2.4.10: Auszug aus dem Brücken katalog; Brückenentwurfsblatt zum aufgelösten Hohlkastenquerschnitt (Typ STR-K-05) für Straßenbrücken mit großer Spannweite

2.5. Musterstatik und Bauverfahren

Fertigstellungsgrad: 100%

Der Hauptteil des Arbeitspakets 5 wird planmäßig erst im 2. Forschungsjahr bearbeitet. Die für die statischen Berechnungen erforderlichen Prozesse wurden jedoch bereits im 1. Forschungsjahr vorbereitet, was auch dem Projektplan entspricht.

Für die Auswertung von Schnittgrößen und Verformungszuständen wird das Softwarepaket Sofistik herangezogen. Die Möglichkeit der achsbasierten Modellierungsweise bietet insbesondere im Brückenbau zahlreiche Vorteile. Die im AP 4 erstellten vollparametrisierten Systeme und Querschnitte werden in AP 5 weiterverwendet. Dafür wurden umfangreiche Schnittstellen zu anderen Programmen (z.B. Rhino) so aufbereitet, dass sich die Optimierung der Systeme im statischen Berechnungsprozess besonders effizient gestaltet.

Ein Teil der Bemessung und Nachweisführung, es handelt sich dabei vorwiegend um Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, wird direkt in Sofistik vorgenommen. Verformungen oder Spannungen werden direkt ausgewertet und nachgewiesen. Für bestimmte Nachweise wurden eigene Post-Processing-Routinen geschaffen. Beispielsweise wird das aus dem Betonbau allgemein bekannte Programm – INCA2 – zur nichtlinearen Querschnittsanalyse herangezogen. Eine umfangreiche Untersuchung zur Sicherstellung der korrekten Integration der UHPC-Arbeitslinien in die Programme (INCA2, Sofistik) wurde vorgeschaltet.

Excel-Vorlagen und Python-Routinen wurden ebenfalls entwickelt und dienen der einfachen und übersichtlichen Nachweisführung (z.B. Querkraftnachweis).

Somit ist der Workflow für die Durchführung der Detailstatiken zur Gänze vorbereitet und die geplanten Arbeiten wurden vollständig durchgeführt.

3. Erläuterung von wesentlichen Änderungen bei den Kosten

Im ersten Forschungsjahr zeigte sich, dass der Aufwand einiger Wirtschaftspartner doch deutlich größer als erwartet ist. Da der Wissenschaftspartner TU-Graz mit mehr Mitarbeitern als im Antrag geplant arbeitet, benötigt die TU-Graz 5 statt der geplanten 3 Software-Lizenzen vom Partner SOFISTIK AG. Für einen effizienten Projektfortschritt waren auch mehr Workshops (Ziviltechniker und Wissenschaft) erforderlich, wodurch mehrere der Ziviltechniker-Partner einen erhöhten Aufwand hatten. Die Lieferung von Rohstoffen für die Herstellung von Versuchskörpern verschiebt sich im Zeitplan teilweise ins 2. Forschungsjahr, wodurch die Inkindleistungen von Rohstoffhandel Staretschk GmbH und ANP-Systems GmbH sich im 1. Jahr etwas reduzieren und stattdessen im Zweiten etwas höher ausfallen werden.

In Summe haben die Wirtschaftspartner um 23% mehr geleistet als im Antrag geplant wurden.

4. Beitrag der Projektergebnisse zur Nachhaltigkeit

Vor dem aktuellen, globalen Hintergrund einer sich beschleunigenden Urbanisierung und einer steigenden Nachfrage nach Gebäuden und Infrastruktur bei gleichzeitig immer strengeren Anforderungen an die Dekarbonisierung und begrenzten CO₂-Budgets wird die Priorisierung von Sanierung, Instandsetzung und Lebensdauerverlängerung von Brückenbauwerken in Industrieländern zu einem zentralen Weg, um die kumulativen Treibhausgasemissionen zu reduzieren, vermeidbare Materialflüsse zu minimieren und den Bestand an Tragwerken und anderen langlebigen Bauteilen besser zu nutzen.

Im Rahmen dieses Projekts hat das erste Arbeitsjahr zu einer verfeinerten Perspektive der Lebenszyklusanalyse geführt, die explizit unterscheidet zwischen dem, was an Ort und Stelle verbleibt, dem, was neu hinzugefügt wird, und der zeitlichen Planung von Instandhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen. Dieser projektspezifische LCA-Rahmen definiert daher, wie die Umweltauswirkungen verschiedener

Strategien zur Lebensdauer-Verlängerung bei prognostizierter Verkehrsentwicklung zu bewerten sind – von der weiteren und intensiveren Nutzung und Modernisierung bestehender Anlagen bis hin zur Einführung neuer UHPC-Überbauten.

Ausgehend von der Tatsache, dass das Cradle-to-Gate-Treibhauspotenzial (GWP) für die Module A1–A3 mittlerweile relativ einfach aus Umweltproduktdeklarationen, sektoralen Instrumenten, wie dem im Rahmen des ÖBV-Forschungsprojektes „Decarbonisation First“ entwickelten Berechnungstool LCCO2 zu entnehmen ist, und den sich abzeichnenden Anforderungen an Lebenszyklus-Kohlenstoffdaten gemäß EN 15804+A2 [14] und der Bauprodukteverordnung (CPR) [15] lässt sich der Schwerpunkt von NextBridges auf die langfristigen Folgen der Planung hinsichtlich Dauerhaftigkeit, Reparatur und Sanierung verlagern [16].

Für neue UHPC-Überbauten bedeutet dies eine Szenario-Entwicklung, die die gesamten Module A, B, C und D umfasst, d. h. Produktion, Bau, Nutzung, Instandhaltung und Entsorgung sowie potenzielle Vorteile und Belastungen jenseits der Systemgrenze im Einklang mit der aktuellen Praxis zur CO2-Bilanzierung über den gesamten Lebenszyklus. Bei bestehenden Überbauten berücksichtigt die Bewertung ausdrücklich, dass Teile der Module A und B bereits stattgefunden haben, und konzentriert sich auf prospektive Optionen für das Ende der Lebensdauer sowie Verwertungswege, abhängig von der technischen Machbarkeit und den regulatorischen Rahmenbedingungen. Für Unterbauten, die weiterhin in Betrieb bleiben, sollten die bewerteten Szenarien die abgeschlossene Produktion und einen Teil der Nutzungsphase umfassen, während alternative Zukunftsszenarien für Inspektions-, Reparatur- und Verstärkungszyklen, die verbleibende Lebensdauer sowie den späteren Rückbau und die Materialrückgewinnung untersucht werden. Da sich diese Entscheidungen über mehrere Jahrzehnte erstrecken, zielt der vorgeschlagene Ökobilanz-Rahmen auch darauf ab, prospektive Hintergrundszenerien für wichtige industrielle Aktivitäten zu integrieren, die die erwartete Dekarbonisierung von Strom, Baumaterialien und Abfallbehandlung widerspiegeln, und somit eine Grundlage für einen fundierten Vergleich von Strategien zur Lebensdauererlängerung gegenüber Ersatzstrategien in den kommenden Projektphasen bieten.